

統計的方法に基づく階層分析法の提案

小林 優* 松田 眞一†

E-Mail: matsu@nanzan-u.ac.jp

先行研究において、AHP と配点法に基づく主成分分析が比較されているが、本論文ではそれらを対立したものとして考えずに複合した方法を提案する。すなわち、収集したデータに対して統計的方法で項目を絞り AHP を用いる分析である。この提案法の有用性について 2 つの事例研究とシミュレーションによって明らかにしていく。

事例研究とシミュレーションにより、提案法と AHP を用いる分析の結果がほぼ一致した。一対比較法を部分的に用いる提案法は利便性に優れていると考察された。

1 はじめに

オペレーションズ・リサーチ (OR) の分野では複数の要素からウエイトを決定し、意思決定を行う階層分析法 (AHP: Analytic Hierarchy Process) という方法が存在する。AHP は意思決定のための問題がまず存在し、そのための評価基準と代替案と呼ばれる問題解決の候補が挙げられる。そして、問題、評価基準、代替案の 3 つで階層図が構成される。その上で一対比較法を用いて代替案の総合得点を求めて、意思決定を行うのである。AHP は Saaty[10] によって提唱されたものであるが、現在では様々なところで利用され、方法の改良も進んでいる。

本論文と関連のある AHP の先行研究としては一対比較行列からのウエイトの算出に関して統計的方法を利用するもの (例えば村山ら [7] や後藤 [1]) や一対比較法を用いずにウエイトを算出するもの (鈴木ら [11])、および主成分分析と AHP を比較したもの (例えば星野・北村 [4] や上條 [5]) といった研究が挙げられる。

本論文では一対比較行列からのウエイトの算出に関して議論は行わず幾何平均法で固定した。星野・北村 [4] は、地区分級を定める際の評価基準に配点法のデータの主成分分析が従来から用いられており、様々な問題点が存在するため、新たな評価手法として AHP を提案し、結果的に AHP が有用な方法であると考察している。一方、上條 [5] では環境アセスメントとしてよく用いられる AHP に対して主成分分析による代替案の比較検討を提案している。本論文ではこれら 2 つの論文とは異なり、統計的方法と AHP を比較するのではなく、配点法による統計的分析の結果に AHP を適用するという複合的な方法を提案する。配点法を用いることは鈴木ら [11] の得点比較評価法と近い部分もあるが、鈴木ら [11] の提案は評価基準を直接評価するものであるのに対して本論文では統計的方法で評価基準を集約して構成する点と構成後の新たな評価基準に対して一対比較法を用いる点が異なる。

本論文では、既存のデータを利用して主成分分析で因子を抽出して AHP を用いる分析 [分析 1]、AHP を用いる分析 [分析 2]、配点法を用いてデータ収集し主成分分析で項目を絞り AHP を用いる分析 [分析 3] を行う。[分析 1]、[分析 2]、[分析 3] の 3 つの結果を比較していき、統計的方法の有用性を検討していく。

* 南山大学大学院理工学研究科システム数理専攻

† 南山大学理工学部システム数理学科

2 AHP について

2.1 AHP とは

AHP は問題，評価基準，代替案の 3 つで構成された階層図（例えば図 1 のような構造）に基づき，問題に対して最適と思われる代替案を決定する方法である．評価基準と各評価基準における代替案に関して一対比較法を用いてウエイトの推定を行い，代替案の総合得点を求めて意思決定を行う．（加藤・小沢 [6] 参照）

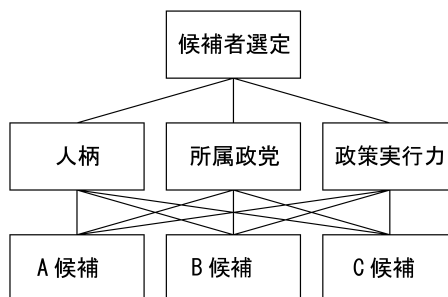


図 1: AHP の階層図の例

図 1 では選挙での投票先としてふさわしい候補者の選定という問題に対して，人柄・所属政党・政策実行力といった評価基準を設けて 3 人の人物を評価している．この階層図の場合は評価基準として人柄・所属政党・政策実行力のウエイトを合計が 1 になるように定める．また，人柄について A, B, C の候補のウエイト，所属政党について A, B, C の候補のウエイト，政策実行力について A, B, C の候補のウエイトも同様に定める．これらのウエイトを乗算することで A, B, C の候補の総合得点が決まり，総合得点が一番高い候補がふさわしいと判断される．

2.2 一対比較法

一対比較法とは複数の比較対象に対して 1 対 1 で対を作り，ある判断基準の下でどちらがふさわしいか評価する方法である．比較対象の数が m であるとき，その組み合わせ数は $m(m+1)/2$ となるため，比較対象が多いと比較数が増大し，アンケート対象者の負担となる．実施したアンケートに基づき，前の項目を行，後ろの項目を列として行列を作成する．これを一対比較行列と呼ぶ．本論文では以下の表 1 に示す一対比較値を用いた．

表 1: 本論文で用いる一対比較値

一対比較値	意味
1	両方の項目が同じくらい重要
3	前の項目が後の項目より若干重要
5	前の項目が後の項目より重要
1/3	後の項目が前の項目より若干重要
1/5	後の項目が前の項目より重要

作成された一対比較行列は以下のような構造になる。

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1m} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & \cdots & a_{mm} \end{bmatrix} \quad \text{ただし, } a_{ij} > 0 \ (\forall i, j), \ a_{ji} = \frac{1}{a_{ij}} \ (\forall i, j) \quad (1)$$

(加藤・小沢 [6] 参照)

2.3 ウエイトの算出方法

評価基準と代替案, それぞれで複数人から得た一対比較行列についてどのように集約すべきかは議論があるが, ここでは幾何平均によって集約することにした。(刀根・真鍋 [12] 参照) また, 集約した一対比較行列からウエイトを算出する際にも, 幾何平均法以外に固有ベクトル法や調和平均法などが用いられることがあるが, ここでは一般的な方法である幾何平均法を用いることにした。評価基準のウエイトと代替案のウエイトを乗算して, 総合得点が求められる。ウエイト $\{w_i\}$ の計算方法は以下の通りになる。(堀田 [3] 参照)

$$g_i = \sqrt[m]{a_{i1} \times \cdots \times a_{im}}, \quad w_i = \frac{g_i}{\sum_{i=1}^m g_i} \quad (i = 1, \dots, m) \quad (2)$$

3 アンケートについて

[分析 1] を行うにあたり, 初めに既存のデータを解析して因子を定め, その因子を評価基準として用いて一対比較法で 4 つの評価基準 (質問項目) のアンケートを行った。また, [分析 2], [分析 3] を行うにあたり, 学生に対して共通の質問項目に基づく, 一対比較法と 5 段階評価の配点法のアンケートを同時に実施した。アンケートはともに 2 段階に分かれており, 初めに評価基準ごとの代替案の一対比較のアンケートと 5 段階評価の配点法のアンケートを同時に実施した。次に, 評価基準同士 (大項目同士と同じ大項目内の小項目同士) の一対比較のアンケートと初めに行った配点法のアンケートの結果から因子の意味づけを行って作った新たな評価基準同士の一対比較のアンケートを同時に実施した。

4 事例研究について

統計的方法の有用性を明らかにするために, 住みやすさに関する研究と自動車メーカーのブランドイメージに関する研究を行った。住みやすさに関する研究は既存のデータが存在したため, [分析 1], [分析 2], [分析 3] の比較を行った。自動車のブランドイメージに関する研究は既存のデータが存在しないため, [分析 2], [分析 3] の 2 種類の研究の比較を行った。

4.1 住みやすさに関する事例研究

4.1.1 既存のデータを利用して主成分分析で因子を抽出して AHP を用いる分析 [分析 1]

平成 24 年に名古屋市が調査した他都市市民アンケート（Web[8]）の中では 12 都市 40 項目の質問内容が存在する。（項目は表 2, 3, 12 都市は表 6 を参照）既存のデータが存在するので都市の住みやすさを求めるのに活用できないかと検討し、因子分析で因子を抽出し、因子に AHP を適用してはどうかと考えたのであるが、都市の数に対して項目数が多いので因子分析は適用できなかった。因子分析の代わりに主成分分析を用いて分析を行った。主成分分析にかけバリマックス回転を行った結果を表 2, 3 に示す。実際の計算には R の psych パッケージを用いた。（林 [2], 緒賀 [9] 参照）

表 2: 主成分分析をかけバリマックス回転を行った結果（都市 [分析 1]）

	RC1	RC2	RC3	RC4
介護	0.62	0.04	0.64	0.31
子育て	0.63	-0.03	0.71	0.20
子供安心	0.69	-0.08	0.65	0.22
子供支援	0.61	0.07	0.75	0.14
子供権利	0.58	-0.22	0.64	0.25
障害者安心	0.73	-0.02	0.60	0.25
若者自立	0.71	-0.21	0.52	0.39
心身健康	0.58	-0.11	0.48	0.50
衛生的	0.67	-0.08	0.48	0.48
医療	0.52	0.14	0.70	0.34
防災意識	0.48	0.31	0.65	0.36
情報伝達	0.47	0.05	0.71	0.46
緊急対策	0.37	0.01	0.78	0.46
防災対策	0.15	0.08	0.73	0.44
交通安全	0.37	-0.09	0.38	0.81
犯罪対策	0.08	0.95	0.03	0.09
快適さ	0.38	-0.20	0.74	0.45
ごみ分別	0.25	-0.06	0.76	0.35
ごみ処理	0.40	-0.51	0.58	0.38
社会子供育成	0.70	-0.12	0.53	0.36
障害者参加	0.84	-0.13	0.33	0.34
文化継承	0.80	0.16	0.21	0.42
社会関心	0.76	0.14	0.33	0.47
異文化尊重	0.74	0.07	0.41	0.21
住みたい	0.47	-0.21	0.50	0.67
交通機関	0.17	0.10	0.46	0.77
道路快適	0.43	-0.05	0.32	0.81
歩行者快適	0.40	-0.01	0.18	0.78
美味しい水	0.41	-0.06	0.55	0.49
若者重視	0.88	-0.04	0.30	0.33
次世代産業	0.87	0.03	0.37	0.26
中小企業	0.83	0.10	0.25	0.46
魅力発信	0.79	0.16	0.32	0.42
食の安定	0.71	-0.09	0.39	0.51

表 3: 主成分分析をかけたバリマックス回転を行った結果 (続き)

	RC1	RC2	RC3	RC4
消費生活の安定	0.52	0.08	0.37	0.73
就職	0.77	0.01	0.40	0.43
人権尊重	0.53	0.05	0.69	0.36
親切的な対応	0.33	0.23	0.59	0.58
行政運営	0.49	0.25	0.47	0.63
施設管理	0.56	0.21	0.37	0.62

表 2, 3 をもとに大項目として意味づけを行い, 関連する小項目をまとめたものが表 4 である.

表 4: 小項目の分類 (都市 [分析 1])

大項目 (因子)	小項目
街づくりの環境の因子	子供安心, 障害者安心, 若者自立, 心身健康, 衛生的, 社会子供育成, 障害者参加, 文化継承, 社会関心, 異文化尊重, 若者重視, 次世代産業, 中小企業, 魅力発信, 食の安定, 就職
防犯に関する因子	犯罪対策
福利厚生などの家庭に関する因子	介護, 子育て, 子供支援, 子供権利, 医療, 防災意識, 情報伝達, 緊急対策, 防災対策, 快適さ, ゴミ分別, ごみ処理, 美味しい水, 人権尊重, 親切的な対応
交通に関わる行政の因子	交通安全, 住みたい, 交通機関, 道路快適, 歩行者快適, 消費生活の安定, 行政運営, 施設管理

大項目のウェイトを定めるために学生にアンケートを行った. アンケートには都市名を入れず, 4 つの大項目について一対比較で質問し, ウェイトを求めた. また, 4 つの大項目のウェイトと各都市の因子得点を乗算して各都市の総合得点を求めた. 4 つの大項目のウェイトを表 5, 各都市の因子得点を表 6, 総合得点を表 7 で示した.

表 7 の結果より上位 3 都市は仙台, 福岡, さいたまであることが分かった.

表 5: 大項目間のウェイト (都市 [分析 1])

	街環境	防犯	福利厚生	交通	幾何平均	ウェイト
街環境	1.000	0.776	1.173	0.803	0.924	0.230
防犯	1.289	1.000	1.099	1.138	1.127	0.281
福利厚生	0.852	0.910	1.000	1.040	0.948	0.236
交通	1.245	0.879	0.962	1.000	1.013	0.252

表 6: 各都市の因子得点 (都市 [分析 1])

	街環境	防犯	福利厚生	交通
札幌	0.863	0.850	0.882	-0.568
仙台	1.174	1.307	0.882	1.319
さいたま	0.574	0.801	0.895	0.014
川崎	-1.429	-1.342	-1.389	-1.245
横浜	-1.334	-1.146	-1.316	-1.098
名古屋	-0.329	-0.362	-0.242	0.285
京都	0.527	0.322	0.431	0.637
大阪	0.017	-0.130	0.272	0.336
神戸	0.166	0.093	0.118	0.444
広島	-0.223	-0.407	-0.515	-0.795
福岡	1.456	1.488	1.471	-1.169
東京	-1.463	-1.473	-1.489	1.841

表 7: 総合得点
(都市 [分析 1])

	総合得点
札幌	0.502
仙台	1.178
さいたま	0.571
川崎	-1.347
横浜	-1.216
名古屋	-0.163
京都	0.474
大阪	0.116
神戸	0.204
広島	-0.487
福岡	0.805
東京	-0.637

表 6 より以下のように都市が分類された。

- 大項目 4 つ全てが負である都市: 川崎, 横浜, 広島
- 大項目 3 つが負の値である都市: 東京, 名古屋
- 大項目 1 つが負の値である都市: 大阪, 福岡, 札幌
- 大項目 4 つ全てが正である都市: 仙台, 埼玉, 京都, 神戸

4.1.2 都市の選定と階層図の構成

[分析 2], [分析 3] に進むにあたり, [分析 2] の AHP を適用するのに 12 都市 40 項目は多いため, まず都市を選定することにした。

4 つにグループ分けを行い 4 つの因子得点を考慮して各グループから 1 つ都市を選定するようにした。ただし, 項目 4 つ全てが正である都市のグループうち, 4 つの正の項目の数値に差が大幅にあるため 2 つの都市を選ぶこととした。最終的に仙台, 札幌, 神戸, 名古屋, 横浜の 5 都市を選定した。次に防犯に関する因子の中の小項目は少ないことから 4 つの大項目から 3 つの大項目に分析し直し項目数を減らすことにした。新しい 3 つの因子は前の防犯に関する因子を除いたものに近くなったが, 関連する小項目は表 4 とは異なるものになった。

各大項目内の小項目の一対比較はどれも多く, 質問数が増えすぎるので小項目をまとめた中項目を作り意味づけを行った。意味づけを行った結果, 3 つの大項目, 8 つの中項目, 40 個の小項目に分けられ, 階層構造が構成されると考察した。階層構造については利根・真鍋 [12] を参照のこと。結果を表 8 に示す。

この3層の階層構造のままで一対比較を行うことも可能であるが、回答者の負担が大きいのので2層の階層構造にすることにした。中項目までで階層構造にすることも考えられるが、回答者がイメージしやすいように抽象的な表現である8つの中項目から小項目を一つずつ抜き出し、アンケートの質問項目にした。すなわち、大項目と小項目からなる2層の階層構造に構成し直した。

表 8: 階層構造（都市 [分析 2],[分析 3]）

大項目	中項目	小項目
街づくりの 環境の因子	リスクに関すること	子供安心, 犯罪対策, 情報伝達, 緊急対策, 防災対策
	文化に関すること	文化継承, 魅力発信
	職に関すること	次世代産業, 中小企業, 若者重視, 就職
福利厚生などの 家庭に関する因子	社会保障に関すること	介護, 子育て, 子供支援, 子供権利, 医療, 障害者安心, 障害者参加, 社会子供育成
	生活の質に関すること	ゴミ分別, ごみ処理, 美味しい水, 快適さ, 衛生的, 食の安定, 消費生活の安定, 心身健康
	個人の意識に関すること	防災意識, 若者自立, 社会関心, 異文化尊重, 人権尊重, 住みたい
交通に関する因子	行政の交通に関すること	交通安全, 交通機関, 行政運営, 施設管理, 親切的な対応
	交通マナーに関すること	道路快適, 歩行者快適

- リスクに関すること
 - ・ 犯罪が少なく安全に暮らせる（犯罪対策）
- 文化に関すること
 - ・ 魅力や文化が大切にされている（文化継承）
- 職に関すること
 - ・ 若者が学び、遊び、働く場がある（若者重視）
- 社会保障に関すること
 - ・ 安心して医療が受けられる（医療）
- 生活の質に関すること
 - ・ 快適な居住環境が守られている（快適さ）
- 個人の意識に関すること
 - ・ 地域・地域活動への関心（社会関心）
- 行政の交通に関すること
 - ・ 公共交通機関が便利である（交通機関）
- 交通マナーに関すること
 - ・ 歩行者と自転車が安全に通行（歩行者快適）

表 9: 8 つの小項目ごとの都市のウエイト [分析 2]

	犯罪対策	文化継承	若者重視	医療	快適さ	社会関心	交通機関	歩行者快適
横浜	0.149	0.200	0.303	0.295	0.216	0.151	0.333	0.196
名古屋	0.172	0.127	0.264	0.258	0.177	0.127	0.307	0.109
神戸	0.205	0.233	0.205	0.200	0.229	0.203	0.174	0.216
札幌	0.242	0.252	0.116	0.120	0.172	0.248	0.080	0.237
仙台	0.232	0.188	0.112	0.127	0.205	0.271	0.106	0.242

4.1.3 AHP を用いる分析 [分析 2]

アンケートは学生に 8 つの小項目ごとに 5 つの都市の一对比較を行ってもらった。8 つの小項目ごとにアンケート結果から都市のウエイトを求めたものが表 9 である。

大項目同士的一对比較によって求めたウエイトと大項目内の小項目同士的一对比較によって求めたウエイトから乗算を行い全体のウエイトを求めた。(大項目のウエイトと小項目のウエイトは省略する。) 全体のウエイトを表 10 に示した。

表 10: 大項目と小項目から得た全体のウエイト (都市 [分析 2])

犯罪対策	文化継承	若者重視	医療	快適さ	社会関心	交通機関	歩行者快適
0.179	0.071	0.087	0.145	0.129	0.062	0.209	0.117

表 10 の全体のウエイトと表 9 の 8 つの小項目ごとの都市のウエイトを乗算することにより、各都市の総合得点を算出した。結果は表 11 である。

表 11: 総合得点 (都市 [分析 2])

	横浜	名古屋	神戸	札幌	仙台
総合得点	0.240	0.208	0.204	0.171	0.177

表 11 より、総合的な住みやすさは横浜、名古屋、神戸、仙台、札幌の順になった。

4.1.4 配点法を用いてデータ収集し主成分分析で項目を絞り AHP 用いる分析 [分析 3]

5 段階評価の配点法のアンケートを実施し、8 つの中項目ごとに各都市について絶対評価で得点をつけてもらった。個人ごとのアンケート結果を算術平均したものが表 12 である。

表 12: 評価基準ごとの都市の 5 段階評価の配点法の結果 [分析 3]

	犯罪対策	文化継承	若者重視	医療	快適さ	社会関心	交通機関	歩行者快適
横浜	2.786	3.357	4.214	4.286	3.786	2.929	4.500	3.286
名古屋	2.929	2.000	4.000	4.357	3.714	3.143	4.500	2.643
神戸	3.286	3.286	3.643	4.000	3.643	3.214	4.000	3.701
札幌	4.701	3.926	2.786	3.500	3.286	3.786	2.929	3.643
仙台	3.929	3.500	2.786	3.500	3.214	3.643	2.714	3.429

表 12 の結果に主成分分析を行いバリマックス回転をかけたものが表 13 である。

表 13: 都市の分析における因子負荷量 [分析 3]

	RC1	RC2
犯罪対策	-0.902	0.402
文化継承	-0.317	0.944
若者重視	0.918	-0.387
医療	0.846	-0.526
快適さ	0.934	-0.352
社会関心	-0.956	0.259
交通機関	0.895	-0.440
歩行者快適	-0.389	0.910

表 13 より RC1 を都会的因子，RC2 を文化的因子と名付けた。この 2 つの因子で一対比較のアンケートを行い，それぞれにウエイトをつけたものが表 14 である。

表 14: 都会的因子と文化的因子のウエイト（都市 [分析 3]）

	都会的	文化的	幾何平均	ウエイト
都会的	1.000	1.551	1.246	0.608
文化的	0.645	1.000	0.803	0.392

都市ごとの因子得点を求め，表 14 のウエイトを乗算することで各都市の総合得点を求めたものが表 15 である。

表 15: 総合得点（都市 [分析 3]）

	横浜	名古屋	神戸	札幌	仙台
総合得点	2.427	1.373	0.754	-1.984	-2.570

表 15 より，総合的な住みやすさは横浜，名古屋，神戸，札幌，仙台的順になった。

4.1.5 都市の事例に関する考察

3 種類の研究を行ったが，[分析 2] と [分析 3] の結果がほぼ一致した。このことから質問数が多くなる一対比較法を用いるより配点法を用いてアンケートを取る方が簡単ではないかと推察された。また，[分析 1] の結果が大きく異なったのは，利用した既存のデータは全国の都市の住人にアンケートを実施しているのに対して後の 2 つの研究は，学生に対してアンケートを実施しており，対象が異なるからだと考察される。

4.2 自動車のブランドイメージに関する事例研究

自動車のブランドイメージの事例研究を行うために、学生に対して4つの自動車メーカー（トヨタ、日産、ホンダ、ベンツ）と5つの質問項目（コストパフォーマンスが高い車づくりを行っている．環境にやさしい車づくりを行っている．安全性能が高い車づくりを行っている．デザイン性が高い車づくりを行っている．燃費が良い車づくりを行っている．）でアンケートを実施した．自動車のブランドイメージの既存のデータが存在しなかったため、住みやすさに関する事例研究とは異なり、AHPを用いる分析[分析2]と配点法を用いてデータ収集し主成分分析で項目を絞りAHPを用いる分析[分析3]の2つの方法の比較を行った．

4.2.1 AHPを用いる分析[分析2]

5つの項目ごとに自動車メーカー間の一対比較アンケートを実施し、その結果からウェイトを求めたのが表16である．

表 16: 5つの項目ごとの自動車メーカーのウェイト [分析2]

	コスパ	環境	安全	デザイン	燃費
トヨタ	0.466	0.468	0.440	0.219	0.500
日産	0.222	0.238	0.226	0.183	0.209
ホンダ	0.228	0.212	0.195	0.165	0.184
ベンツ	0.085	0.082	0.139	0.432	0.107

また、以下の表17は質問項目同士のウェイトの結果を示している．

表 17: 各質問項目のウェイト（自動車 [分析2]）

	コスパ	環境	安全性能	デザイン	燃費	幾何平均	ウェイト
コスパ	1.000	1.715	0.840	1.037	0.938	1.070	0.206
環境	0.583	1.000	0.362	0.788	0.508	0.610	0.117
安全性能	1.190	2.761	1.000	1.510	1.071	1.397	0.268
デザイン	0.964	1.269	0.662	1.000	0.618	0.871	0.167
燃費	1.066	1.968	0.934	1.617	1.000	1.259	0.242

表16の5つの項目ごとの自動車メーカーのウェイトと表17の各質問項目のウェイトを乗算して総合得点を求めた．表18は自動車メーカーの総合得点を示している．

表 18: 自動車メーカーのブランドイメージの総合得点 [分析2]

	トヨタ	日産	ホンダ	ベンツ
総合得点	0.426	0.215	0.196	0.162

この結果より、自動車メーカーのブランドイメージはトヨタ、日産、ホンダ、ベンツの順となった。

4.2.2 配点法を用いてデータ収集し主成分分析で項目を絞り AHP 用いる分析 [分析 3]

5段階評価の配点法を用いて、項目について絶対評価で得点をつけてもらった。個人ごとのアンケート結果を平均したものが表 19 である。

表 19: 配点法による 5 段階評価（自動車 [分析 3]）

	コスパ	環境	安全性能	デザイン	燃費
トヨタ	4.615	4.538	4.692	3.615	4.692
日産	4.000	4.077	4.308	3.692	4.231
ホンダ	4.077	3.923	4.154	3.615	3.846
ベンツ	2.538	2.769	3.769	4.615	2.846

表 19 の結果に主成分分析を行いバリマックス回転をかけたものが表 20 である。

表 20: 自動車の分析における因子負荷量 [分析 3]

	RC1	RC2
コスパ	0.675	0.734
環境	0.737	0.676
安全性能	0.893	0.449
デザイン	-0.468	-0.883
燃費	0.805	0.587

表 20 より、RC1 は先進的因子、RC2 は経済的因子と名付けた。これはデザイン性の良い＝スポーツカーなどの自動車は経済的によい車と考えられていないからである。しかし、デザインの項目は反転項目となっており負の値が大きいことからデザインの項目は独自にデザイン性を持つのではないかと考察した。

自動車メーカーのブランドイメージを考える際に、先進的な要素が重要と考えるか、または経済的な要素が重要であるか、あるいはデザイン性が重要であるかを一対比較でアンケートを取り、それぞれにウェイトをつけ表 21 に示した。

表 21: 因子のウェイト（自動車 [分析 3]）

	先進的	経済的	デザイン	幾何平均	ウェイト
先進的	1.000	1.142	1.365	1.159	0.384
経済的	0.876	1.000	0.872	0.914	0.303
デザイン	0.732	1.147	1.000	0.944	0.313

表 20 の中で 3 つの要素が考えられたので、デザイン性のために表 20 の第 2 因子の値を正を負に負を正に反転させるパターンと表 20 の第 2 因子の値を経済性とデザイン性に分離させたパターンの 2 つの場合で考えた。表 22、表 23 はそれぞれ場合分けを行った因子負荷量に基づくパターン行列と総合得点を示している。

表 22: デザイン性を反転させたパターン（自動車 [分析 3]）

(a) パターン行列				(b) 総合得点	
	先進的	経済的	デザイン		総合得点
コスパ	0.675	0.734	-0.734	トヨタ	1.297
環境	0.737	0.676	-0.676	日産	0.408
安全性能	0.893	0.449	-0.449	ホンダ	0.116
デザイン	-0.468	-0.883	0.883	ベンツ	-1.821
燃費	0.805	0.587	-0.587		

表 22 より、反転させたパターンの自動車メーカーのブランドイメージはトヨタ、日産、ホンダ、ベンツの順となった。

表 23: 経済性とデザイン性を分離させるパターン（自動車 [分析 3]）

(a) パターン行列				(b) 総合得点	
	先進的	経済的	デザイン		総合得点
コスパ	0.675	0.734	0	トヨタ	1.912
環境	0.737	0.676	0	日産	0.528
安全性能	0.893	0.449	0	ホンダ	0.023
デザイン	-0.468	0	0.883	ベンツ	-2.463
燃費	0.805	0.587	0		

表 23 より、分離したパターンの自動車メーカーのブランドイメージはトヨタ、日産、ホンダ、ベンツの順となった。

4.2.3 自動車メーカーの事例研究の考察

[分析 2] と [分析 3] の結果が一致した。また、[分析 3] の中の因子負荷量で反転項目が存在し、2 つのパターンに分けたが、それらについても結果が一致した。さらに、デザイン性を反転させたパターンと [分析 2] の総合得点の相関係数を求めると 0.781、経済性とデザイン性を分離させるパターンの方と [分析 2] の総合得点の相関係数を求めると 0.815 となったので、後者の方が有効的な方法であると推察された。

しかし、これについては、1 つのデータのみの結果であるのでさらに研究し検討していく必要があると思われる。

5 シミュレーション

都市の分析において AHP を用いる分析 [分析 2] と配点法を用いてデータを収集し主成分分析で項目を絞り AHP を用いる分析 [分析 3] の 2 種類の研究の結果が異なるものになったので、学生から得たアンケートをもとにシミュレーションを行った。

5.1 プログラムについて

プログラムは提案した配点法による分析と AHP の 2 つの分析で構成した。それぞれの総合得点を求めることができる。シミュレーションは 1 万回同時に行い、それぞれの総合得点を平均して算出するプログラムを作成した。なお、AHP では問題を単純化して 8 項目間で一対比較するように設計した。

5.2 プログラム手順の説明

まず学生から得た住みやすさの配点法のアンケートの結果から各質問の結果の平均 m と分散 v を求めた。(平均は表 12, 分散は表 24 を参照)

表 24: 評価基準ごとの都市の 5 段階評価の配点法の分散

	犯罪対策	文化継承	若者重視	医療	快適さ	社会関心	交通機関	歩行者快適
横浜	1.104	0.555	0.181	0.220	0.643	0.841	0.423	1.297
名古屋	1.385	1.341	0.308	0.247	0.835	1.209	0.269	1.632
神戸	0.835	0.989	0.247	0.615	0.709	1.055	0.615	1.148
札幌	0.841	0.687	0.797	0.885	0.835	0.797	0.995	0.401
仙台	0.841	1.187	0.797	1.038	1.258	0.462	0.989	0.725

5.2.1 配点法による分析の手順

1. 各 (i,j) 成分に対し平均 m_{ij} , 分散 v_{ij} の正規乱数を与え 4 つの区切り (1.5, 2.5, 3.5, 4.5) で区切り数値を整数に丸める。
2. 1 の手順を繰り返し、配点法の結果に対応する n 人 (ただし、本論文では事例研究に合わせて $n = 14$ とした) の 5 行 8 列の行列を作成する。この行列を成分ごとに算術平均して要約する。
3. この行列に主成分分析を行い、バリマックス回転して因子 (ここでは因子数は 2 と固定) を求める。
4. 個人の因子得点を平均したものを比較して一対比較の行列を作成する。
5. n 人分の一対比較行列を成分ごとに幾何平均し 1 つに集約した新たな行列を作成する。
6. 集約した行列から因子のウエイトを求める。
7. 代替案の因子得点を求め、それと因子のウエイトを乗算することで代替案の総合得点を求める。

5.2.2 AHP の手順

1. 配点法のアンケートの結果から評価基準ごとに代替案の数値の差（1 以下，1 より大きく 2 以下，2 より大きい）の 3 つで区切り，一対比較を行い， n 人分の一対比較行列を作成する．
2. これを一つの行列に集約し評価基準ごとに代替案のウェイトを求める．
3. 各人ごとに行列を抜き出し，代替案に関して平均化した上で n 人分の評価基準間の一対比較行列を作成する．それを成分ごとに幾何平均して 1 つの行列に集約する．
4. 集約した行列から評価基準についてもウェイトを求める．
5. 評価基準ごとの代替案のウェイトと評価基準のウェイトを乗算することで総合得点を求める．

5.3 シミュレーションの結果と考察

シミュレーションの結果は，表 25 のようにまとめられる．配点法の総合得点の平均値は横浜，名古屋，神戸，札幌，仙台の順になり，AHP の総合得点の平均値も同様の順となった．実際に学生にアンケートを行ったのは 1 回であったため，一対比較法と配点法の順番が異なつたと考えられるが，1 万回に回数を増やしシミュレーションを行い結果が同様になったことにより，[分析 2] よりも [分析 3] を用いたものの方が質問数が少なく簡単で手間がかからないのではないかと考察された．また，配点法と一対比較の都市の並びの一致率を調べたところ 0.08 となり，ほぼ一致しなかったことから，1 回ごとのゆらぎは大きく微少な差の代替案の順位は不安定であることが分かった．

表 25: 2 つの方法で求めた総合得点の平均値

	横浜	名古屋	神戸	札幌	仙台
配点法	2.768	1.892	0.813	-2.409	-3.064
AHP	0.211	0.201	0.199	0.198	0.189

6 まとめ

事例研究から [分析 2]，[分析 3] を用いて得られた結果がほぼ同じになったことから [分析 3] が有用であると考えられた．また今回は住みやすさのアンケートを用いてシミュレーションを行ったが，[分析 2] と [分析 3] を用いて得られた結果が同じであることから有用であると示された．このことより [分析 2] よりも [分析 3] を用いた方が利便性が高いと結論づけられる．

[分析 1] のように項目数の大きな問題の場合には直接的に [分析 2] と比較することが困難であるが，上記の考察より [分析 1] も有用であると推察される．この結論は鈴木ら [11] の結論にも似ているが，それよりさらに踏み込んで項目の集約ができるので適用できる場面が

広がるのではないかとされる。また因子の比較には一対比較法を利用しているので AHP の利点である問題に対する意見の反映もしやすいのではないかと考察される。

7 おわりに

今回は事例研究から既存のデータが存在する場合は [分析 1] が好ましいと考察され、アンケートとシミュレーションから [分析 3] の有用性を明らかにすることができた。しかしアンケートの内容によっては自動車のブランドイメージに関する事例研究のように反転項目が存在する場合があると思うので、この時の状況をどう扱うべきかが課題になってくると考えられた。

参考文献

- [1] 後藤正幸 (2004): 階層型意思決定モデル (AHP) と統計学的考察, 『武蔵工業大学環境情報学部紀要』, **5**, 77-88.
- [2] 林邦好 (2007): 『多変量解析法の統計的性質に関する研究』, 南山大学大学院数理情報研究科修士論文.
- [3] 堀田敬介: 『意思決定科学』,
http://www.bunkyo.ac.jp/~verb~hotta/lab/courses/2009/2009dmt/09dmt_6.pdf (2018/9/22 閲覧).
- [4] 星野敏・北村貞太郎 (1989): AHP を用いた評価手法の理論的考察, 『農林計画学会誌』, **7**(4), 2-12.
- [5] 上條哲也 (2012): 環境アセスメントの代替案比較検討における主成分分析の提案. 『環境情報科学論文集』 **26**, 25-30.
- [6] 加藤豊・小沢正則 (1998): 『OR の基礎 AHP から最適化まで』, 実教出版.
- [7] 村山直人・後藤正幸・俵信彦 (2002): 重み付き最小二乗法を用いた AHP のウェイト推定法に関する研究, 『日本経営工学会論文誌』, **53**, 368-377.
- [8] 名古屋市: 他都市市民アンケート調査,
<http://www.city.nagoya.jp/somu/cmsfiles/contents/0000049/49243/tatoshi.pdf/> (2018/7/20 閲覧).
- [9] 緒賀郷志: R による因子分析関連メモ&主成分分析とその回転メモ,
<https://sites.google.com/site/officeoga/r/fa> (2018/7/1 閲覧).
- [10] Saaty, T. L. (1977): A scaling method for priorities in hierarchical structures, *Journal of Mathematical Psychology*, **15**, 234-281.
- [11] 鈴木亜也子・鈴木聡士・當麻哲也 (2017): AHP における得点比較評価法の提案と信頼性の検証, 『北海学園大学工学部研究報告』, **44**, 33-44.

- [12] 刀根薫・真鍋龍太郎 (1990): 『AHP 事例集』, 日科技連出版社, 40-41.